水稻健康管理研討會 57~72 (2004)

氣象與水稻生產之關係

楊純明

行政院農業委員會農業試驗所農藝組

摘　　要

人類依靠糧食爲生，而農作物是糧食的主要來源，農作物生產的良痞則由其自身遺傳組成及環境變異共同控制。通常遺傳組成隨人爲選種育種目標改變，有其最大生產潛力(能)限制，環境變異將因栽培管理方法及環境變化而異動，造成不同的農作物生產結果。倘若人類對於農作物的選種育種，能夠沿以該地特殊環境爲依循標準，將可以預期得到最佳遺傳形質的綜合表現，彰顯遺傳潛能。所謂的理想生產環境，就是農作物能夠在此等環境下充分發揮其遺傳組成的生產潛能，得到遺傳組成所能獲得的最佳表現。惜農作物在生育過程的各環節中未必皆盡如人意生活於理想環境，常可能遭受氣象逆境干擾及氣象災害危害，導致潛在產量與品質的降低甚或災情損失。本文將現階段與農作物生產有關的氣象(候)議題歸納成五大方向，據此延伸將農業氣象科學劃分爲五大研究領域，即農業生物氣象、設施農業微氣象、農業氣象災害、農業氣象(候)資源及氣候變遷與農業生產。接著簡述臺灣地區的氣象環境，介紹一些影響農業/水稻生產的重要氣象名詞，描繪氣象環境的時空變化，闡明改變氣象環境的自然及人爲誘因。再詳細說明氣象與水稻生產之關係，讓讀者瞭解氣象環境對水稻生產影響及如何改善(進)水稻生產之氣象逆境。最後則做一簡單結論，呼籲政府各有關部門重視我國農業的經營與發展，以維持農業的生態功能、傳承農業文化，並善用農業的社會機能。

關鍵字：農業氣象、水稻生產、農業氣象逆境、農業氣象災害、全球氣候變遷。

前　　言

人類依靠糧食爲生，糧食供應的多寡非僅決定人口消長與民眾健康，亦因此影響社會安定、國家興衰及世界和平，甚至擴及人類文明的發展。農作物是糧食的主要來源，農作物生產的良痞則由其自身遺傳組成及環境變異共同控制。通常遺傳組成隨人爲選種育種目標改變，是主觀的認定，有其最大

生產潛力(能)限制；環境變異將因栽培管理方法及環境變化而異動，造成不同的農作物生產結果，是客觀的事實，如今卻可經由人爲方式加以修飾與調整，減少或避免環境變異的直接衝擊。倘若人類對於農作物的選種育種，能夠沿以該地特殊環境爲依循標準，將可以預期得到最佳遺傳形質的綜合表現，彰顯遺傳潛能。如此亦將優於臺灣過去採行的全省性育種做法，這類品種雖然具有廣域的適應彈性及穩定產量，然而卻無法擁有較高生產表現的遺傳潛能。

一、農作物的理想生產環境

所謂的理想生產環境，就是農作物能夠在此等環境下充分發揮其遺傳組成的生產潛能，得到遺傳組成所能獲得的最佳表現。然而，農作物在生育過程的各環節中未必皆盡如人意生活於理想環境，常可能遭受逆境(如氣象逆境)干擾，使其生長與發育不如預期，導致潛在產量與品質的降低。而當任何環境變因造成農作物生產過程中不利、不順、不良或不當的狀況(態)時，即被歸屬於逆境(stress environment)，短期嚴重或長期不良逆境將給農作物帶來災害，危及正常的收穫而造成經濟上的損失。

二、農作物的生產環境

農作物的生產環境依空間分佈而言，可以大別分爲三大環境空間，即地面以上的氣象變因產生的氣象環境，地面上的栽培管理變因產生的栽培逆境，以及地面以下的土壤變因產生的土壤逆境[1]。引發病蟲害的病源及蟲源的流行與危害，可能同時受到超過單一環境的作用，然並非本文探討的環境項目。在自然田間生長的農作物，隨時受到環境因子的影響，也可能同時受到來自四面八方超過一種逆境因子的干擾。

三、農作物的氣象環境

農作物生產過程將無可避免的接觸氣象環境，在田間自然狀況下，從種子發芽出土、植株生長與建立、營養生長轉至生殖生長、乃至於成熟收穫及收穫物的採收調製，均與氣象變化息息相關。非僅決定農作物植株生長、發育的好壞，也左右收穫物(產品)的優劣。本文將特就氣象環境與水稻生產關係進行深入闡述，讓讀者瞭解氣象環境的複雜性及對水稻生產的宏遠影響，

亦藉此機會提出因應對策及未來研究方向就教識者，期以達到吸引更多人專注相關議題的拋磚引玉效果，並助益於國內農業的永續經營與發展。

內　　容

一、農業氣象科學

昔人自古已熟知氣象與農作物生產關係的密切關聯，隨著知識的累積及氣象量測儀器設備的發展，無論農業或氣象學術均有長足精進，在學術領域中逐漸衍繹出「農業氣象科學(agricultural meteorology)」。農業氣象科學爲一跨學術領域的專業學門，主要在探討農業生產與氣象關係，並延伸出對應的改進(善)措施與策略，使其兼具學術理論與實務應用層面。

(一)天氣及氣候

農作物所處的氣象環境係瞬息萬變的，然而吾人可以從渾沌混雜中歸納出條理，演繹出模式，來釐清氣象環境的規律，並以之探討各種農作物在不同生育階段對不等強度氣象逆境所做出的反應及因應機制。

農作物的氣象環境所要考量的，同時包括接近地表空氣層在短期間或特定時間之氣象變化，即天氣(weather)，及長期的天氣變化，即氣候(climate)。但是，天氣並非一完整的形體，非肉眼或直接觀測可加以描述，必須藉由個別氣象因子(如氣溫、氣壓、日照時數、輻射量、降水、濕度、風速、風向、氣流運動、...等)的量測後再予綜合評估、判斷及預測，並予描繪出天氣的輪廓。因此，在農業氣象的研究上，可以見到對各別氣象因子的試驗研究，澄清最根本的相對互動，亦可見到綜合多氣象因子的模式方析與模擬，推估氣象因子交感的綜合效應及農作物的妥協因應。

(二)農業氣象科學五大研究領域

本文將現階段與農作物生產有關的氣象(候)議題歸納成五大方向，包括限制農作物生產的氣候變因、農作物生產的氣象環境─微氣象/大尺度氣象、模擬農作物生產的氣象模式、氣候(象)資源的開發與利用及全球氣候變遷等五項，據此延伸將農業氣象科學劃分爲五大研究領域。

1.農業生物氣象

農業生物氣象可謂是農業氣象科學與農業氣象產業的基礎，簡單說主要在探究農作物的生理代謝活性與氣象因子的關係，由農作物對氣象變化的折衷反應究明個別氣象因子或氣象因子交感引起的生理生化現象，進而釐清代謝運轉的影響機制，推演與解釋對生長與發育造成的結果。吾人可從根本理論的認識與瞭解，進一步啓發出調節氣象正面影響、緩和負面效應的實際應用，以知其所以然而利用於所必然，將理論與應用結合從事於實務栽培管理。

在田間自然狀況下，通常影響農作物生產的限制因子不止一項同時出現，因此某特定生產環境下的農作物表現，乃該生產環境影響的綜合呈現，即農作物適應該特定生產環境後的折衷反應或妥協表現。氣象因子的效應亦復如此，氣象變因之間可能產生交感作用，致使氣象環境的影響十分複雜，農作物爲求適應所做的自發性反應也相對的非常繁複。舉例而言，當空氣中的二氧化碳濃度上升時，以二氧化碳作爲光合作用原料的農作物將嘗試增大氣孔開度，提高氣體的傳導度，透過濃度差增加體內二氧化碳來促進光合成；然而氣孔阻力的降低將同時利於水蒸氣的蒸散逸失，經由氣孔內外的蒸氣壓差擴大水分的消耗；稻株蒸散作用的進行，具有必要調整植體溫度的功能，稻株因此隨時調控氣孔開度修正體溫的升降。這時農作物將進行自主性的自身折衷調節，維持在一妥協的氣孔開度下，使得二氧化碳進入及水蒸氣釋出保持在一適當的動態平衡。由此可知，農作物對某特定氣象環境呈現的適應性折衷反應，係一種多重反應，即由相關的多個作用串連發生。或許相輔相成，也可能互不關聯或相互衝突，在統計上常呈現出複雜的曲線反應而非單純的線性反應。此自發的多重反應有其限度，當農作物所承受的氣象逆境強度超過其反應能力極限時，將使農作物受到傷害或至死亡。

2.設施農業微氣象

直接影響農作物生育的氣象環境，一般被認爲係位於距離地面2米(對高大農作物則爲4米)高度空間的氣象變化，即所謂的微氣象(micro-climate)環境。而在微氣象環境以上空間的氣象變化，則被歸屬於全域氣象或大氣象(macro-climate)環境，透過對微氣象環境的影響間接干擾農作物的生產。近幾十年來設施農業興起，人們以固定或機動、精密

或簡易的設施栽培農作物，藉由對設施內微氣象環境的控制，達到對產量、品質與產期的調控。設施農業微氣象遂成爲一項新興農業氣象研究領域，此一創新做法使得農作物生產不再拘泥於必要的地理、地形、緯度、海拔條件，能夠隨意的經營農業。

當農作物遭受外在氣象環境影響時，藉由設施作爲或直接調節設施內的微氣象環境，即可以緩和或抵銷外在氣象的衝擊。在產業經營層面上，更加以提供適當的微氣象環境，依循監控-調節-改進等步驟，使農作物得以在設施內進行最佳化的生產。如此作爲對於高經濟價值農作物生產而言，仍然符合成本經濟效益，以高價的產品迴饋於升高的生產成本，並且能夠達到週年生產目的。對於低價的農作物，倘若能夠藉由設施栽培擴大生產規模，以量取勝，或以此循環生產改進利基，則仍有其利用的空間。

3.農業氣象災害

如前述，農作物生存於一複雜的環境空間，氣象環境尤其變化萬千，使得農作物常處於逆境之下。由前臺灣省政府農林廳出版之『臺灣農業年報』及行政院農業委員會出版之『農業統計年報』資料，均顯示臺灣地區農業氣象災害的頻繁及造成災情損失之嚴重。臺灣地區自1990年以來，每年的農業災害估計損失皆超過二十億元，更有70%以上年份每年災損高達一百億元以上，而氣象災害的經濟損失更占其中95%以上(扣除921震災)，顯示快速氣候變遷引起的氣象異常及對農業危害的頻繁與嚴重性，同時也忠實反應了臺灣地區農業氣象災害發生的高機率。

依據統計分類，臺灣地區前四大排名的農業氣象災害分別是颱風、水患、低溫及乾旱[3]，農政部門及農業試驗研究單位應當加以重視，謀求各種問題因應及解決的對策。從災害損失的保險立場，非常需要災害發生頻率、災情程度與經濟損失關係、以及農民因應處置相對做法等評估資料和計價公式等有關研究，這些都是政府及研究單位應當重視與討論的議題。在經營管理層面上，則當加強災害的預警、預防與防護措施研究，力求減輕災情。

4.農業氣象(候)資源

當吾人能夠清楚氣象對農作物生產的阻礙及限制所在，就可以進行順勢利導的開發與利用，將特定地區的氣象資源從事最佳化的農業生產。在實務做法上，可以將整個大區域網格化，調查各小區域的地理地形地物產生的特殊氣象環境，建置成網格氣象(候)地理資訊系統。這樣的資訊系統，若能配合農作物栽培資料庫(如氣象條件、土壤與營養需求、栽培技術與方法等)及有關決策模式系統的套疊與分析，將可獲得各區域「適地適時適作」資訊，充分利用各特定區域之氣象(候)資源，發揮適栽農作物的生產潛能。

前臺灣省政府農林廳陳武雄廳長在任內曾大力推介農產品的少量多樣化政策，作爲臺灣地區「拼盤式小農型態」的解決方案之一。在呼應特定農業區域之不同農業氣象資源景況，通過網格氣象地理資訊系統的建構及運作，將可以落實「適地適時適作」的最佳化農作生產政策，以『一鄉一特產』的高價農產品策略達到「地盡其力、物盡其用、貨暢其流」的理想市場導向境界，使農產品價格提高而真正提昇農業的競爭力。

又臺灣是一個典型的海島，亞熱帶季風氣候區的氣候分類使得年平均雨量可以達到2510公釐(係世界平均值的2.6倍)。儘管擁有如此豐沛的雨量，由於雨量在時間及空間上的分配不平均，而且地表水逕流量未能妥善存留於地面集水域(區)及地下水層，加上農、工、商產業和民生用水的大量需求，造成了水源分配不均及用水量不足問題。通常每年五月至十月期間的雨量就佔了全年的78%，雨量的過度集中使得枯水期長達六個月。再者，臺灣的河川多坡陡流急、腹地狹隘，逕流量被攔蓄而可利用的只佔全年逕流量的18%，往下滲漏至地下水層的水量也遠不及超抽量。在長年用多存少情境下，形成水資源短缺而不敷使用的結果並不令人意外，卻因此影響到臺灣地區水資源的全盤運用與配置。從氣象資源的觀點，水資源的開發、利用與管理將是臺灣目前必須面對的交纏產業、生態及民生議題，宜有未雨綢繆之智。

5.氣候變遷與農業生產

近年來全球均普遍意識到氣候的快速變遷現象，穩定的氣候型態不再，代之爲異常天氣頻率增加、氣象災害頻傳。追根究源乃歸於人造化學品及石化能源大量而長期的使用，促使大氣中的溫室效應氣體濃度(如

二氧化碳、甲烷、氧化氮、氟氯化物等)大幅升高，造成地球溫室效應的增強、紫外線照射量的增加及臭氧層的稀薄化，其結果就是地球的溫暖化及氣候的快速變遷。

全球氣候的加速變遷下，不但造就了不穩定的氣候，同時增加了災害性天氣(如雨暴、冰雪暴、沙塵暴、乾旱等)發生機率。預料未來的天氣及氣候預測將更難掌握，除了各種產業及民生活動將普遍受到影響之外，也會給農業帶來不可預期的結果。氣候變遷所產生的正面或負面作用，端視氣候變因的強弱與發生時機而定，亦隨著人爲因應調整對策而有差別。相信臺灣地區的民眾多少意識到往昔到現在天氣及氣候的差異，諸如臺灣地區上半年的春雨與梅雨降水量及分佈、下半年的午後雷雨、颱風、東北季風與冷氣團，似乎不盡符合過去的經驗；全年的乾旱期長短、氣溫高低、氣流運動等，亦有頻率、強度及時期改變的變化。

氣候變遷下產生的新農業生產情境是混沌不明的，儘管學界每以模式(組)模擬多項因子交感造成的未來輪廓與環境，終究無法清楚而肯定的描繪出真實景象。誠然如此，在多變的各種組合下，吾人仍需仰賴模式提供可能的因應策略，以延續農業生產和糧食供應。

二、臺灣地區的氣象環境

臺灣地區位於亞洲大陸東南邊緣之熱帶與溫帶交接處，分類上歸屬於副(亞)熱帶型氣候，然因四周環海，也受到海島型氣候影響。又因座落於西太平洋熱帶氣旋(颱風)通道，自五月起至十一月則進入所謂颱風季節，隨時都可能因著颱風侵襲帶來狂風暴雨。加上地區內複雜的地形地貌，使得境內氣象變化十分多樣，而且氣象災害頻繁。歸納影響臺灣地區天氣和氣候的主因，一般言以季(節)風的影響最大，全年均盛行東北季風，尤其秋冬二季最爲明顯。夏天吹西南季風，特別是經過臺灣東部地區海域的颱風離臺之後，經常引進旺盛的西南氣流製造豪、大雨，臺灣西南地區迎風面尤當注意此一現象。

臺灣地區一般性的天候型態是這樣的，中南部夏季雨量較多而冬季少雨，北部全年有雨而於平年時冬季多陰雨天氣。平均氣溫北部低而南部高，高山低而平地高，在春、冬季之天氣變化較大而夏、秋季變化較小。颱風來襲時，將帶來風雨交加天氣，影響民眾生命財產甚鉅。近年來由於水土保持

失衡，夾雜風雨的颱風或者一場豪大雨，就可能引起山崩、路塌、土石流等景況，對山坡地農作物造成極大損害。

(一)一些影響農業/水稻生產的重要氣象名詞

現代化的農業經營管理，必須依靠即時的氣象資訊，進行及時的因應處置，以維持農作物最佳的生育狀況。本文乃介紹一些影響農業/水稻生產的重要氣象名詞(請參閱交通部中央氣象局網站資料)，提醒讀者多加充實氣象知識，幫助農場經營管理。例如，當有發生豪、大雨機會時，就應該巡查水田溝渠的暢通，以免淹水危害；當有低溫寒害發生機會時，可以維持田面適量的灌溉水深或供給輻射熱源(如蔬果園)，緩和過低溫度帶來的衝擊；而當預測到乾旱發生的可能性時，或以辦理休耕、輪灌調節爲因應，或以分配水量在必要生育時期使用爲對策。諸如此類因應極端天氣或氣象狀況發生的配套做法，當在平時習練備用，俾隨時應付處置。

1.降水機率

現行降水(雨)預報，已採用較爲精確的降水機率。這是以預報區未來36小時內三個時段出現0.1 mm或以上降水機會來計算；降水機率愈高，則降水的機會就愈大。

2.豪、大雨

豪雨及大雨的分類，以每日累積的降雨量區分。當每日雨量累積達50 mm以上時，稱爲大雨；當每日雨量累積達130 mm以上時，則稱之爲豪雨。

3.強風及颱風

海面上出現平均6級或以上風力時，稱爲強風。由氣象學名詞，颱風爲一熱帶氣旋，即熱帶海洋上發生的一種非常猛烈的風暴。雖然西太平洋每年發生的颱風數目將近百個，但是每一年實際侵襲臺灣地區的數目並不一定。

4.氣團及鋒面

某段時間停滯於地表某一特定地區之廣大空氣體，其同一高度水平方向之各點溫度、濕度等物理性質頗爲一致時，稱其爲氣團。高氣壓的冷氣團與低氣壓的暖氣團交會時，將產生的帶狀介面，稱爲鋒面。鋒面涵蓋地區常有不穩定的氣流運動，造成下雨現象。當侵入的冷氣團使當

地最低氣溫降至12-14℃時，稱之爲大陸冷氣團；而當此一冷氣團促使最低氣溫降至12℃或以下時，特稱爲強烈大陸冷氣團。

5.低溫及寒流(寒潮)

如果侵入的強烈大陸冷氣團造成某地區氣溫降至10℃或以下時，則造成所謂的低溫現象。當此一冷氣團造成氣溫低於10℃或二日內下降4℃且使氣溫降至14℃以下時，稱爲寒流(或寒潮)。

6.霧、霾及煙

當極細微水滴密集懸浮於近地面空氣，使得水平方向能見度低於1 km之現象，稱爲霧。若是以塵埃或鹽類等非吸水性固體微粒懸浮於空氣中，稱爲霾。當是指經由物質燃燒後產生的固狀微細顆粒懸浮於空氣中，則形成煙。

7.乾旱

乾旱很難給予嚴格的定義，一般是指長期缺少降水(雨)或灌溉不足情況，造成農業(農作物)用水短缺，危害農業(農作物)的經營之謂。臺灣地區近年來降水分佈的紊亂，加上工商產業及民生用水需求的大幅升高，不但引發水資源分配問題，亦造成農作物生育期的乾旱。

(二)氣象環境的時空變化

氣象因子係隨著時間及空間的改變而變化，各個因子觀測值在一天當中的任一時段及一年當中的任一天都可能不同，在不同地區任一位置表現也可能不一。因此，氣象環境細微的時空變化是十分複雜而多變的，瞭解氣象因子的變化特性才能夠歸納或演繹規律性及常態性的趨勢。對於氣象環境的監測及天氣的預測，需要藉助於精密而複雜的量測硬體設備及軟體分析系統，再輔以人力經驗才能達成任務。

對水稻的栽培而言，依照育種目的可能有適合全年栽培或特定季節栽培之稻種，前者具有較大的氣象適應性，惟因未必遭逢最佳環境而不易獲得最大生產潛能表現。後者針對特定季節進行育種，遺傳歧異度可能較小，卻因特定季節變異範圍不大，比較能夠得到遺傳組成潛力的發揮。一如前述，亦有針對臺灣全區或特定地區進行品種選育者，以現行育種趨勢而言，預料將以特定目標育方向爲主流，較有機會達成品種特性的發揮。

臺灣地區目前以兩期稻栽培爲主，一期稻作在上半年，二期稻作則在下半年。對於以全年栽培爲育種目的之稻種而言，通常一期作期間氣溫及光輻射強度由低往高、光照期由短至長的特性，可以獲得較高的生產量。反之，二期作期間氣溫及光輻射強度由高往低、光照期由長至短的特性，常使生產量不如一期稻作者。爲期得到最佳稻米生產量與質的表現，建議國內宜改採特定目標育種，即依照某地區特定的氣象環境育種(包括切割兩期作)，如此將可有效改進現行水稻的生產現狀，提升水稻的競爭力。

(三)改變氣象環境的誘因

氣象環境的改變或變遷，係受到自然及人爲誘因雙重影響，包括生物性及非生物性的現象。自(天)然誘因是指非人力形成的自然活動，如火山運動、宇宙星球間吸引力、太陽塵爆、太空物體侵入地球等，非但牽動天氣、氣候、土壤及生態的變化，也會帶動海洋潮汐、物理性與生物性循環及生物行爲等的表現。人爲誘因是指因人爲因素造成的變化及變遷，如人類活動、發電廠與工業製程排放物、工商產物及能源消耗(車輛、航空器、機械運轉--)等，亦將影響天氣及氣候的規律性變化。

依目前現象，人爲誘因的負面效應遠大於自然誘因，其中尤以土地的不當或過度利用(如林地砍伐、燃燒)，以及石化能源的長期使用爲最嚴重。這些人爲因素據悉已成爲造成氣候資源失衡主因之一，並引起全球暖化、水土破壞、土質劣化、砂漠化等結果，甚至形成不可恢復的傷害。

對臺灣地區言之，由於農業產業衰退、工商產業發達興盛，使得農耕用地大幅而急劇的下降，特別是水(稻)田面積逐年遞減。在臺灣光復至1980年以前，稻田面積約有70-80萬公頃，近年已降至約35萬公頃，可以想見水田調節當地微氣候的功能如何的式微。除此之外，水田蘊涵(藏)地下水源的機能亦顯著消失，加上地下水的不斷抽取，帶來另一項消耗水資源的危機。很可能不久的未來，雨水將成爲唯一的灌溉來源，水稻在臺灣地區的栽培將從灌溉栽培體系(irrigated cultivation system)降格爲雨灌栽培體系(rainfed cultivation system)，看天栽培，靠天吃飯。而近幾十年來山坡地的不斷開墾，在水土保持不當及水泥叢林大幅增加情況下，也製造出許多環境問題，不利於局地微氣象的調節功能。據此建議農政部門及早因應，一方面發展水稻節

水栽培技術與系統，另方面從事耐旱性育種及研發陸稻栽培體系。現階段爲節省栽培水稻灌溉用水，可將栽培期配合雨季，減少水利灌溉的供水壓力。

四、氣象與水稻生產之關係

稻米爲全世界最主要的糧食之一，在熱量(能)的供應上位居首位，高於小麥及玉米。亞洲是稻米最主要的生產與消費地區，而稻的栽培種包括亞洲地區的*Oryza sativa* Linn及非洲地區的*Oryza glaberrima* Steud等二種，以前者的分佈及生產量遠高於後者，而*Oryza sativa* L.又可區分爲秈型(Indica)、稉型(Sinica or Japonica)及爪哇型(Javanica)等三類型。由於稻的生產區除了極地之外南北緯度皆有分佈，並從海平面至海拔3000米，顯示其對環境的適應性甚廣，遺傳歧異度甚高[(5)]。固然如此，稻株生育表現卻仍明顯受到環境影響，生產量優劣差異極大，在不利的逆境之下限制生產力的發揮。

從行政院農業委員會之『農業統計年報』(2001)[(4)]資料，臺灣地區在1992年的水稻收穫面積達397,000公頃(一、二期稻作各爲209,000公頃及188,000公頃)，稻穀產量總計2,070,000公噸(一、二期稻作各爲1,250,000公噸及820,000公噸)。至2001年，水稻收穫面積約332,000公頃(一、二期稻作各爲189,000公頃及143,000公頃)，稻穀產量總計約1,724,000公噸(一、二期稻作各爲1,106,000公噸及618,000公噸)。由以上資料併前述，除了說明水稻栽培面積呈現逐年下降趨勢之外，也點出了一、二期稻作在收穫面積及稻穀產量上存在差異。是的，一期稻作單位面積平均稻穀產量約爲6 ton ha^{-1}，二期稻作僅約爲4.3 ton ha^{-1}，大致上二期稻作產量只有一期稻作產量的73%。此一事實反應出兩期稻作生產環境的不同，更正確的說，問題主要在於氣象環境上的顯著差異，值得吾人詳細而深入瞭解稻作生產與氣象環境關係。從全球稻米生產的觀點，根據De Datta [(6)]之統計結果，單位面積最高產的地區位於溫帶，次爲介於北緯30-45° 及南緯30-40° 間之地區，熱帶地區反而較低，再次證明適栽地區氣候(象)的重要性。

(一)氣象環境對水稻生產之影響

水稻生產過程十分繁複，國內栽培採行移植方式，因此秧苗移植前必須育苗、本田整理，移植後需要灌溉、施肥及噴施農藥等作業，稻穀割刈後則要進行脫殼及水分調製等處理。綜觀水稻的全生育期程，各環節均需要主、

客觀條件的配合，諸如資材與資源的投入、人爲的經營管理及外在環境的影響等，皆會改變稻株的生育及生產，都應當妥善管理及謹慎對應。其中，尤以氣象環境之影響最爲深遠，也是人類難以主導的因素。從生育日數爲例說明[(2)]，由播種至收穫在溫帶地區一般約130-150日，熱帶地區約120日，深水栽培地區可能高達150-210日，可見不同氣象環境可以決定適栽的不同成熟期稻種。除了生育日數，氣象環境當然會影響稻株營養器官的生育、生殖器官的發育及穀粒的充實與成熟，惟有瞭解這些基礎知識並加以靈活應用，才能助益於改善稻株的生長環境。

氣象環境當中的雨水(灌溉)、光輻射量、光照長短、氣溫、濕度及風速與風向等因子，皆影響水稻的生長、發育、產量與品質，因此最佳的水稻建康管理就是改善其氣象逆境及減少其氣象災害。撇開災害的預警、預防與防護之外，惟有充分瞭解臺灣地區水稻栽培常見的一般性及區域性氣象逆境，才能對症下藥研擬適當的因應之道。

1.栽培水稻可能發生的一般性氣象逆境

臺灣地區各地的氣象環境不一，對水稻栽培的氣象逆境各有不同。常見的一般性的氣象逆境爲苗期的缺水、一期作前期的寒(冷)害、二期作前期的高溫與後期的季節風、以及沿海地區的風害與鹽風害。由於這些氣象逆境係普遍性發生，栽培水稻前當有認知，確定栽培地區無此等嚴重現象或可利用人爲措施克服再行水稻栽培。

2.臺灣地區較著稱的地域性氣象逆境

依照地理位置及地形地貌差異，臺灣地區各不同水稻栽培區分別有特定的氣象逆境，較著稱的地域性氣象逆境分別爲: (1)北部及澎湖地區的風害，(2)雲嘉地區的季節風，(3)嘉南地區的旱季缺水，(4)高屏地區一期作前期的寒(冷)害，(5)宜蘭地區二期作後期的低溫高濕，及(6)花東地區的寡日照。同樣的，地域性氣象逆境亦爲當地經常性遭逢的氣象情境，必須事先擬妥對策或確定當期作無嚴重情況發生再行栽培。

(二)改善(進)水稻生產之氣象逆境

爲解決這些一般性或區域性氣象逆境，可以由治本的特定目標育種開始，再搭配治標的栽培管理措施的改進。如本文前述強調，以往廣適性的水稻育種，雖能廣泛的全島栽培或全年栽培，但是生產表現卻常未盡人意，經

常無法同時兼顧產量與品質。若能針對特定地區的環境特性與特色來育種及栽培，品種遺傳潛力將更有機會發揮和表現。

「適地適時適作」原則亦是值得參考放諸各地皆準的作法，各種農作物皆有其合適的栽培環境與條件，若能配合各特定地區的土壤與氣象環境及栽培條件選用適當的農作物，或進行品種選育，將能獲得農作物最佳的生產表現，此即為「適地適時適作」的意義和推廣目的。

再者，農政部門和農民朋友都必須具備農業氣象知識，重視農業氣象逆境、農業氣象災害及氣候變遷問題。尤其臺灣地區的農業氣象災害原本已是農業災害損失的主因，加上氣候的快速變遷，使得農業氣象災害可能日趨頻繁，農業氣象逆境可能更為嚴峻。因此，從農民、農會、農業試驗研究單位、至農政機關，都應該關注農業氣象逆境與災害的發生及防範，謀求減少或避免災情的因應對策。本文要特別指出，農民朋友尤當具有災情觀念，切勿在嚴重農業氣象逆境發生地區或頻繁農業氣象災害區域操作農業(農耕)，明知山有虎卻偏向虎山行並不值得鼓勵，任何人都不該有投機自陷險境的做法。

結　語

有鑑於國內農業氣象逆境特性、農業氣象災害情勢及全球氣候加速變遷趨勢，農政部門應當研擬對應的農業生產政策。就農作物而言，氣象環境改變可能造成逆境或危害，可以借助人為改善措施予以調和緩衝；氣候變遷可能帶來農業生產區的遷移、栽培制度與管理措施的調整、作物產期的失序、產量與品質的異常、病蟲害的消長更迭等等景況，需要利用模式模擬未來情境求取解決方法。在針對氣象環境的改變及氣候變遷方向前提下，本文建議以下預擬的因應對策: (1)建立氣象逆境與災害的監測及防護機制，可考慮成立專責單位或責成特定機構永續行辦理此項業務。(2)重新評估氣候變遷帶來的農業新情勢，研擬包括農作物生產區域調整、品種選育、栽培技術、病蟲害管理、產銷規畫、資源調配及氣象災害防護等項目在內的配套處置措施。其此，為確保糧食生產及正常農作物生長，應該注重氣象環境的常態維持，以下幾點農業氣象議題值得探究: (1)保存作物種原的微氣象條件、(2)栽培作物的合適氣象環境與資源、(3)作物栽植期間氣象環境的維持、(4)氣象逆境與災害的改善措施、(5)病蟲害發生的氣象模式應用、(6)收穫與調製過程的氣象

條件、(7)設施微氣象的維護、(8)作物的生物氣象機制、(9)氣候變遷的未來情境和因應對策、及(10)農業氣象政策及試驗研究。

最後，本文願再次呼籲政府各有關機關重視我國農業的經營與發展，以維持農業的生態功能。雖然農業運作具有可能產生農業廢棄物(使用資材、作物殘留物等)、逸釋甲烷(水田爲主)與氧化亞氮(旱田爲主)等溫室效應氣體、帶來農藥與肥料等人造化學品殘留及消耗立即的地面水等負面影響，農業運作的正面影響卻遠超過其負面評價。在生態環境方面，農業具有調節局地微氣候、涵養水源、清淨空氣及維持生態的完整與多樣化等非凡功能，不是其他任一產業所能提供的。在歷史意涵和社會價值方面，農田綠化美化景觀，農村維繫傳統風俗民情，農業文化傳承並延續代代情感，農業生產兼顧國家糧食安全，農業產業勞力收納失業人口，這些都是難以量化評估的重大意義與價值。

誌　謝

作者承蒙環球技術學院林信山教授邀約參與研討會，乃融合過去研究結果、經驗與心得，加上相關文獻，彙集編撰成本文，擬藉此機會向曾經提供有關主題研究計畫經費的行政院農業委員會和行政院國家科學委員會表示由衷謝忱。

引用文獻

1. 林俊義、林富雄、楊純明。1999。第一章：總論。環境與稻作生產。p.1-6。楊純明主編。臺灣省農業試驗所/中華農業氣象學會出版，臺中縣霧峰鄉。
2. 郭益全。1999。第二章：稻米生產與氣候環境。環境與稻作生產。p.7-32。楊純明主編。臺灣省農業試驗所/中華農業氣象學會出版，臺中縣霧峰鄉。
3. 楊純明。1995。臺灣地區農業氣象災害及因應之研究方向。中華農業氣2:31-35.
4. 農業統計年報。2001。行政院農業委員會編印。臺北市。
5. Chang, T.T. 1976. The origin, evolution, cultivation, dissemination, and diversification of Asian and Africa rice. Euphytica 25:425-441.
6. De Datta, S.K. 1987. Principles and Practices of Rice Production. Reprint Ed. John Wiley & Sons, New York. 640 pp.

Climate Environment and Rice Production

Chwen-Ming Yang

Agronomy Division, Taiwan Agricultural Research Institute, Council of Agriculture

Abstract

Man depend foods for living and crops are the major sources. Crop production is controlled both by its genetic composition and environmental influence. Genetic composition of a crop is determined at the time of breeding and selection with potential production limit. Environmental influence may be ameliorated by cultivation practices and surrounding modifications that resulting different production capacities. The best policy of crop breeding for the best genetic performance is to follow the local specific environment so that genetic potential can be fully fulfilled. The so-called ideal production environment is the habitat that can allow a crop to reach its potential production limit. Unfortunately no place on earth can provide such kind of environment and situation. During the growing period, crops are often encountering varied climatic stresses and disasters leading to reversed yield and quality at harvest. This paper divided climate-crop production relations into five issues and expanded them to five research areas, namely, agricultural biological meteorology, agricultural micro-climate in structure, agricultural climatic disasters, agricultural climatic resources, and climate change and agricultural production. Secondly, characteristics of climate environment in Taiwan were briefly described, meteorological terminology related to rice production was introduced, and the nature of temporal and spatial variation of climatic environment was emphasized. Thirdly, changes of natural and artificial factors to the fluctuation of climatic environment were delineated to further explain the relationships between climate and rice production. With the clear understanding of climatic effects, practices and strategies for improving the stress impacts may be derived and assessed. Finally, this paper emphasized the importance

of running agriculture in aids with its ecological, cultural and social functions and appealed such advantages to the government sectors as an ending.

Key words: agricultural meteorology, rice production, climatic stress, agricultural climatic disaster, global climate change.